

К ВОПРОСУ О ВЫВАЛООБРАЗОВАНИИ, КАК ФОРМЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ГЛУБИН РАЗРАБОТКИ

*А.В. Смирнов, А.В. Мартовицкий, ООО «Донбасская топливно-энергетическая компания»,
Украина*

А.В. Солодянкин, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Выполнен анализ исследований и опыта поддержания выработок в условиях вывалообразования пород кровли. Рассмотрена новая физическая модель формирования вывала в условиях возможного образования значительных зон деформаций пород вокруг выработок при незначительном отпоре крепи.

Добыча угля неразрывно связана с увеличением глубины разработки. При этом существенно возрастает горное давление, изменяются свойства породной среды, увеличивается геологическая нарушенность месторождений. Ведение горных работ вызывает перераспределение поля напряжений, приводит к разрушению массива пород, изменению его пространственной структуры. Все чаще эти процессы носят катастрофический характер, сопровождаются человеческими и материальными потерями. В связи с этим, одной из наиболее актуальных проблем сегодня является обеспечение безопасности и эффективности подземных работ.

Одним из характерных катастрофических явлений в выработках глубоких шахт является вывалообразование. Факт вывалообразования свидетельствует о несоответствии работы крепи и способов обеспечения устойчивости выработки условиям их эксплуатации и требует отдельного анализа и обобщения опыта поддержания выработок.

Взаимодействие крепи с окружающим выработку массивом должно учитываться в соответствующей расчетной схеме. Адекватность ее реальному механизму работы крепи во многом определяет эффективность принятой конструкции крепи и ее силовых параметров.

Современные представления о поведении породного массива на глубоких горизонтах шахт предполагают следующую схему формирования нагрузки на крепь. На контуре выработки, расположенной на большой глубине возникают только сжимающие напряжения, абсолютные значения которых превышают предел прочности горных пород на сжатие, что приводит к их разрушению и образованию вокруг выработки зоны пониженных напряжений

– ЗНД. Формирование этой зоны происходит в течение определенного времени, сопровождается разрыхлением пород в ее пределах и, как следствие, смещением их в полость выработки, что и вызывает давление на крепь. Кроме этого, силы собственного веса горных пород, заключенных в пределах ЗНД, равные произведению объемной плотности на соответствующий линейный размер выработки, становятся сравнимы с действующими напряжениями, что приводит к образованию свода обрушения. Таким образом, давление на крепь выработки состоит из двух составляющих: первая определяется перемещениями массива пород к центру выработки и жесткостью крепи; вторая складывается весом обрушенных пород.

Расчетная схема к определению давления на крепь одиночной выработки в такой постановке предложена Ю.М. Либберманом в [1] и приведена на рис. 1, а.

Применительно к расчету арочной металлической крепи схема приложения внешних нагрузок показана на рис. 1, б. На первом этапе неупругое разрыхление горных пород в окрестности выработки вызывает смещения ее контура, сопротивляясь которым крепь испытывает некоторую внешнюю нагрузку q_1 , величина которой, функционально связана с величиной смещений контура и существенно зависит от конструктивной податливости крепи.

На втором этапе, к этой нагрузке добавляется вес пород свода обрушения q_2 . Сумма двух видов нагружения образует те внешние усилия, которым крепь должна эффективно сопротивляться в течение установленного срока службы выработки.

Априори можно было бы предположить, что породы свода обрушения ограничены зоной повышенной трещиноватости приконтурного массива, а величина нагрузки q_2 , будет численно равна (или близка) весу пород вывалов (обрушений), наблюдаемых нередко при строительстве и эксплуатации подземных выработок.

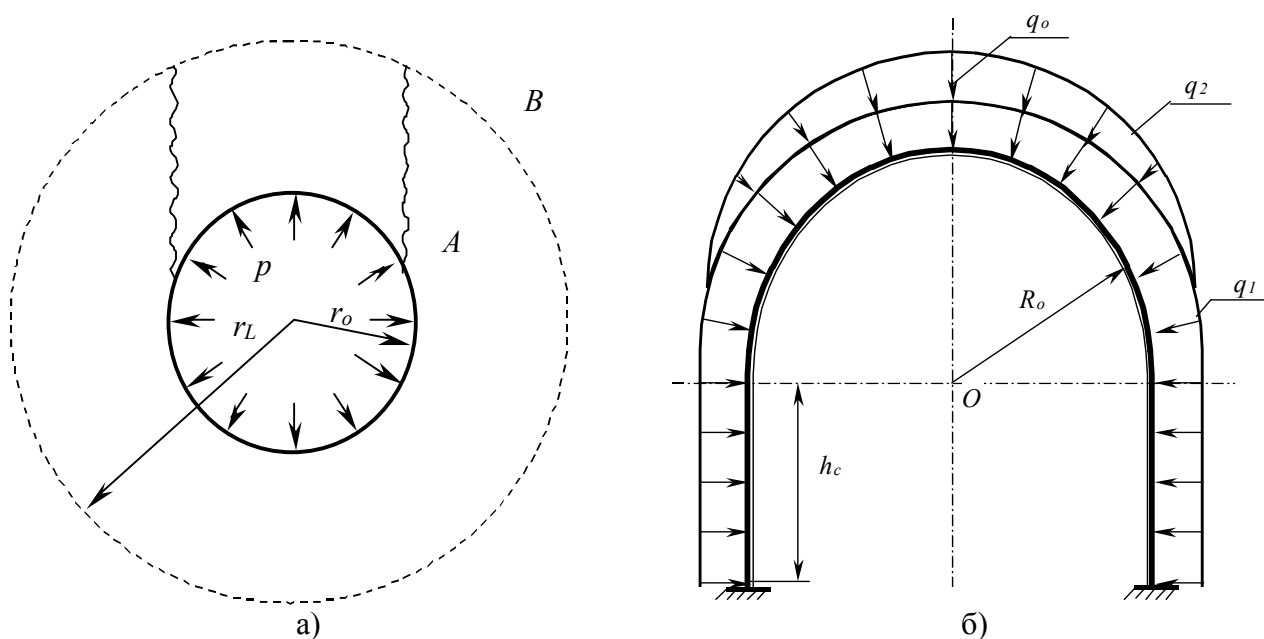
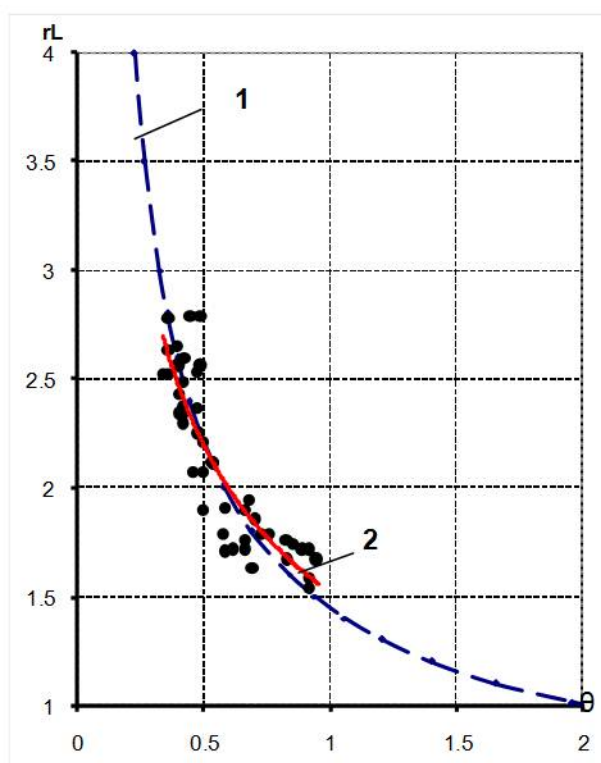
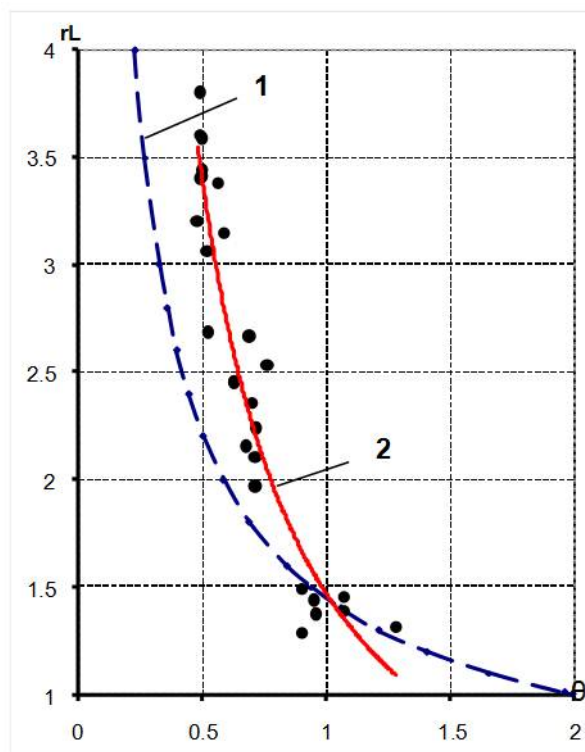


Рис. 1. Расчетная схема к определению давления на крепь по [1] (а) и схема приложения внешних нагрузок к расчету арочной металлической крепи (б).



а)



б)

Рис. 2. Сравнение расчетной величины радиуса ЗНД r_L (линия 1) и величины зоны обрушения для Центрального (а) и Западного (б) Донбасса (аппроксимирующая кривая 2)

С целью установления величины q_2 , определяемой размерами вывала пород в кровле в условиях образования вокруг них значительных областей неупругих деформаций, сотрудниками Днепрогипрошахта под руководством Г.С. Пиньковского было выполнено обследование 74 выработок шахт Центрального и Западного Донбасса [2, 3]. Результаты обследований приведены на рис. 2, на которых также показан график аналитической зависимости величины ЗНД от показателя условий разработки θ по данным [4]. Как видно из рисунка, натурные измерения параметров вывалов образуют корреляционное поле, подчиняющееся тому же закону, что и аналитическая зависимость ЗНД от θ . Это свидетельствует о том, что размер вывала связан с размером ЗНД. Однако обращает на себя внимание тот факт, что аппроксимирующая зависимость для вывалов Центрального района Донбасса практически совпадает с размерами ЗНД для тех же условий, а для шахт Западного Донбасса, размер вывалов существенно превышает сравниваемую величину.

Размеры зон обрушения пород по Центральному Донбассу подтверждают предположение Ю.М. Либермана о возможной высоте вывала, а данные по Западнему Донбассу говорят о том, что размер вывала определяется еще рядом факторов, характерных для конкретных горно-геологических условий отдельных регионов. Но в любом случае, полученные результаты не согласуются с размерами зоны повышенной трещиноватости и предполагаемой нагрузкой q_2 , как свода обрушения пород этой зоны в кровле выработки. Выяснить причину этого несоответствия, а также степень влияния различных факторов на величину зоны обрушения, позволит анализ ряда работ, посвященных этому вопросу.

Явление вывалообразования является предметом многочисленных исследований. Как отмечается в [5], все гипотезы, объясняющие механизм этого явления, по общности исходных предпосылок могут быть отнесены, как минимум, к пяти большим группам.

В гипотезах первой группы (В. Риттер, Ф. Энгессер, О. Коммерель, М. Протодяконов и др.) вывалообразование считается результатом действия сил тяжести пород в объеме свода

обрушения. Во второй группе гипотез (А. Динник, Ж. Ержанов и др.) ответственными за сводообразование считаются растягивающие напряжения. Гипотезы третьей группы объясняют появление свода обрушения в условиях упруго сжатого контура (Ф. Мор, К. Ирвинг, Э. Айзаксон, Г. Черепанов), а в четвертой группе гипотез полагается, что свод обрушения есть результат образования вокруг выработки области неупругих деформаций (А. Лабасс, К. Руппенейт, Ю. Либерман). И, наконец, в гипотезах пятой группы (К. Терцаги, В. Слесарев, Н. Покровский и др.) качественная и количественная оценка процесса вывалообразования основывается на данных практических наблюдений.

Не рассматривая детально достоинства и недостатки различных гипотез вывалообразования (иногда используется термин «сводообразование», что не совсем верно применительно ко всем формам этого явления), можно только отметить, что некоторые из них сыграли важную роль в развитии вопросов горного давления. Так, гипотеза проф. М.М. Протодияконова до сих пор применяется в расчетных схемах определения нагрузки на подземные сооружения неглубокого заложения [6] и, в некоторых случаях, на крепь выработок глубоких шахт.

Гипотезы первых трех групп в большей степени характерны для условий эксплуатации выработок на небольшой глубине и при относительно крепких устойчивых породах. Гипотезы четвертой группы характеризуют условия эксплуатации выработок на глубоких горизонтах, что и является объектом исследований данной статьи.

В [7] на основе изучения результатов многочисленных шахтных исследований нагрузки на крепь выработок, а также анализа данных о структуре ЗНД, доказано, что в качестве нагрузки на крепь может быть учтен вес только 30 % пород, заключенных в пределах ширины выработки области неупругих деформаций, что определяется зоной повышенной трещиноватости. В [5] при определении нагрузки от сводообразования также принимается радиус области руинного обрушения. Однако, как оговаривается в этой работе, с учетом определенного запаса прочности может приниматься радиус зоны неупругих деформаций, что приводит авторов к расчетной схеме Ю.М. Либермана [1]. Другие принятые в [5] положения учета возможной нагрузки от вывала, основанные на сводчатой схеме вывалообразования в сравнении с данными шахтных измерений дают заниженные значения.

В [8], на основе сопоставления данных о вывалах с несущей способностью различных конструкций крепи и расчетными значениями ожидаемых нагрузок на постоянную крепь, отмечается, что примерно в 40 % случаев нагрузка на крепь от вывала превышала ее несущую способность, принятую на основе инженерных методов расчетов. В [9], несущая способность крепи при всех 20 исследованных случаях вывалов не соответствовала уровню дополнительной нагрузки.

Помимо значительной статической нагрузки от веса отделившихся пород, вывал создает и динамическую нагрузку. Анализ результатов натурных наблюдений в выработках шахт ГХК «Добропольеуголь», подверженных внезапным вывалообразованиям пород, свидетельствует о том, что не учет динамических проявлений вывалообразований снижает надежность работы крепей в 3-4 раза [9]. Расчет крепи на ожидаемые статические и динамические нагрузки доказывает, что попытка избежать последствий вывалов путем уменьшения шага установки рам в выработке и переходом к использованию более мощных крепей (СВП-33) не приведет к ожидаемым результатам.

Основным показателем при прогнозировании ожидаемого вывала, который можно зафиксировать путем инструментальных замеров в шахтных условиях, является увеличение интенсивности смещений породных слоев, увеличение скорости смещений контура выработки. Обычно увеличение скорости деформирования характеризует такое состояние породного массива, когда за короткий промежуток времени включаются в движение большие массы пород, вызывающие появление локальных зон интенсивного разрушения пород в окрестности выработки, резкое уменьшение высоты выработки из-за нарастания действующих сил горного давления на крепь. Направление ожидаемого вывала определяется характером деформирования элементов крепи. Так, например, при косонаправленном вывале значительно деформируются боковые элементы крепи со стороны наибольших смещений породного контура, выполаживаются криволинейные участки крепи, наблюдается сужение выработки.

Нередко предпосылкой развития прямого вывала является отслоение и разрушение мало-мощной части породного контура (мощность 1...1,5 м), непосредственно контактирующего с крепью, и предварительное формирование вывала сводчатой формы. Это, в случае нестационарного развития процесса деформирования породного массива является причиной дальнейшего разрушения и деформирования вышележащих слоев пород.

Сопутствующим вывалу явлением есть интенсивное пучение пород почвы (до 0,5 м), проявляющееся почти во всех выработках, в которых наблюдалось вывалообразование. Почти все вывалы характеризуются как нестационарные, т.е. процесс образования вывала является развивающимся, породные обнажения, образованные ввиду нарушения сплошности пород в зоне вывала, не являются устойчивыми. В 65 % случаев ширина вывала превышает ширину выработки, что свидетельствует о связи процесса образования вывала с процессом пучения пород и смещениями части породного массива в боках выработки. Также отмечается, что неустойчивые, развивающиеся породные обнажения, природа которых объясняется высокой степенью нарушенности пород вследствие надработки или подработки, трещиноватостью, вызванной технологическими процессами, приводят в 80-85 % случаев к повторным вывалам.

Детальный анализ 57 вывалов, произошедших на шахтах Западного Донбасса, выполнен в [10]. Одна из групп вывалов была вызвана значительными смещениями породного контура, чему способствовал недостаточный отпор крепи, наличие пустот за крепью, деформация железобетонных затяжек и выпуск породы, связанный с их заменой. Суммарные смещения контура выработок (сближение почвы с кровлей достигало 1,5 м) приводили к образованию значительных по размерам зон неупругих деформаций. Толчком к обрушению пород в пределах этих зон служат перекрепление выработки или подрывка почвы, т.е. операции, нарушающие создавшееся равновесие системы «порода-крепь». Высота вывалов этой группы различна и изменялась от 1,5 до 20,0 м и более, а объем вывала иногда достигал 500 м³.

Перекрепление выработок в условиях пород IV категории устойчивости по данным [11] зачастую сопровождается значительными обрушениями пород кровли и боков выработок. При сохранении свода обрушения отмечается наличие полостей в его замковой части, формируемых в результате сдвижения (оседания) всей сводовой части зоны нарушенных пород. Граница между неподвижным и подвижным участками приконтурного массива представляет собой полосу скольжения с повышенной трещиноватостью. Следует отметить, что в условиях пород IV категории устойчивости в движение под действием собственной массы зачастую приходят нарушенные породы не только кровли выработки. Подвижки свода приводят к сдвигению нарушенных пород в боках выработки и выдавливанию (пучению) пород почвы. В целом нарушенность приконтурной зоны в породах IV категории устойчивости значительно выше. Массив вблизи выработок может быть разбит системами трещин на весьма мелкие блоки. При значительной дезинтеграции непосредственно приконтурная часть массива по своему деформационному поведению близка к сыпучей среде, деформирование ее происходит без разрыхления и с закрытой системой трещиноватости. Нагнетание связующих растворов для упрочнения пород в таких случаях сопряжено со значительными трудностями.

Представительность рассмотренных выше данных о параметрах вывалов и сопоставление с размерами ЗНД, говорит о том, что вывал, формирующийся в условиях образования больших зон деформаций вокруг выработок, не может характеризовать нагрузку на крепь в традиционной постановке задачи о расчете крепи. В данных условиях вывал следует рассматривать как особую форму проявления горного давления, механизм развития и реализации которого можно представить как поэтапный процесс, с различным масштабом времени протекания на каждом этапе (табл.). Детальный анализ целого ряда исследований за поведением окружающего массива показывает, что при незначительном отпоре крепи развитие зоны разрушения происходит поэтапно [11-13].

Механизм реализации вывалов, произошедших в условиях больших глубин, принципиально отличается от механизма локальных вывалов или формирования свода обрушения. В расчетных схемах первых трех групп подразумеваются именно последние. Этот же принцип

распространен и на условия с образованием больших зон разрушения пород, ввиду чего и возникло несоответствие расчетных параметров и натурных исследований.

Что же касается механизма формирования и реализации вывалов пород кровли и пучения пород почвы, то здесь имеется ряд общих черт. И если быть точным, то многие исследователи отмечали общность процессов в кровле и почве выработки и их взаимосвязь. И.Л. Черняк в [14, стр. 88] говорит: «Пики на графиках скоростей смещений почвы и кровли, за некоторыми исключениями, наблюдаются в одни и те же моменты времени. Это говорит о том, что деформационный процесс в массиве пород, окружающем выработку является всеобщим, т.е. охватывает все слои данной части массива пород. Даже если они разнятся по литологическому составу. Абсолютные величины смещений кровли и почвы могут при этом существенно отличаться. Одинаковый характер смещений и скоростей смещений в кровле и почве показывает, что деформационные процессы имеют одинаковую природу».

Действительно, реализация этих явлений происходит при наличии больших зон разрушенных пород вокруг выработки, значительной величины объемного разрыхления пород и больших значениях смещений контура выработки. Началом проявления пучения и вывала является увеличение интенсивности смещений породных слоев в окрестности выработки. Обычно такое увеличение скорости деформирования (смещений) породных слоев, свидетельствует о вовлечении в деформационный процесс больших масс пород. После реализации процессов пучения или вывалообразования, внешняя граница вспученных или обрушенных пород намного превышает первоначальный радиус зоны разрушенных пород. На рис. 3 представлены результаты численного моделирования пучения почвы (а, в) и вывала пород кровли (б, г).

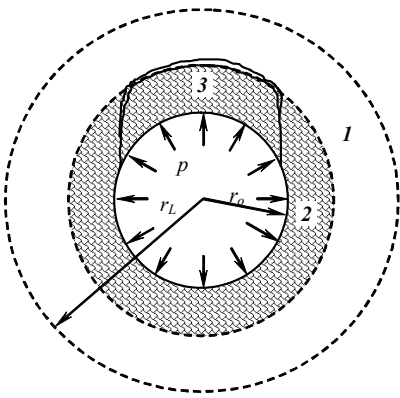
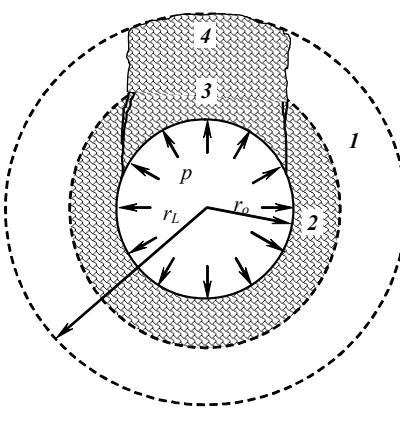
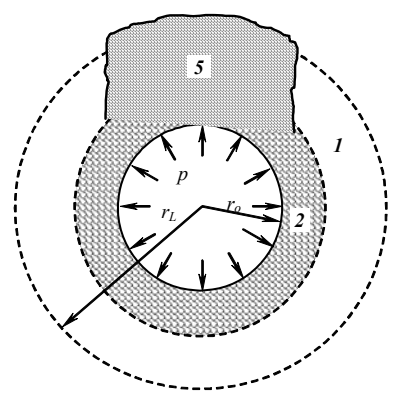
Исследования механизма этих явлений в работах Шашенко А.Н. и Гапеева С.Н. приводят к похожим выводам – величина безразмерного радиуса ЗНД в почве (кровле) возрастает при увеличении поднятия почвы (высоты вывала), при этом в кровле, после вспучивания (соответственно, в почве, после вывала) радиус ЗНД изменяется незначительно.

Если резкое увеличение зоны разрушенных пород в кровле после вывала можно объяснить резким уменьшением подпора со стороны отделившейся части приконтурного массива, что вызывает дальнейшее разрушение уже предварительно нарушенные сетью микротрещин вышележащие слои в условиях более высокого уровня напряжений, то подобный механизм возникает и в почве выработки после вспучивания – резкое снижение подпора на фронте разрушения провоцирует дальнейшее разрушение пород в пределах ЗНД.

В отношении влияющих факторов, определяющих размер зоны обрушения, необходимо отметить следующее. Существенно большие размеры вывалов в выработках шахт Западного Донбасса в сравнении с Центральным районом можно объяснить особенностями этого геологического региона.

Механизм развития и реализации вывала в условиях значительных зон разрушения пород вокруг выработки

Этап	Процесс	Схема
1	Формирование области неупругих деформаций (ЗНД) значительных размеров (1), с образованием в приконтурном массиве зоны повышенной трещиноватости (2) (зоны руинного разрушения пород) с радиусом, при котором происходит относительная стабилизация геомеханических процессов.	

2	<p>При незначительном отпоре крепи – отделение части зоны руинного разрушения пород (3) от вышележащих пород ЗНД с образованием полости в сводовой части. На этом этапе крепь может выдержать вес обрушенных пород.</p>	
3	<p>Отделение пород вызывает изменение контактных условий между разрушенными и не разрушенными породами ЗНД и эквивалентно увеличению поперечного сечения выработки в черне со стороны кровли. В связи с этим, для установления нового равновесного состояния в кровле возобновляется процесс разрушения пород. Однако этому подвергаются уже предварительно нарушенные сетью микротрещин вышележащие слои в условиях более высокого уровня напряжений (4). Поэтому деформационный процесс над отделившейся первоначально частью породного массива, протекает значительно быстрее, и, фактически, при отсутствии отпора пород.</p>	
4	<p>Вывал всего объема нарушенных пород кровли (5). В условиях, благоприятствующих развитию процесса разрушения (сеть вертикальных трещин или тонкослоистое строение массива со слабым межслоевым контактом, сеть субвертикальных трещин и т.п.) высота вывала может достигать размеров, превышающих первоначальный радиус ЗНД.</p>	

Специфика горно- и гидрогеологических условий Западного Донбасса определяется:

- повсеместным распространением в пределах района слабых, легкообрушающихся, трещиноватых, размокающих при наличии влаги пород;
- ярко выраженной тонкослоистой текстурой массива пород, наличием слабого контакта между слоями (в отдельных случаях отсутствием его);
- наличием разрывных дислокаций, характерной блоковой структурой, развитостью субвертикальной трещиноватости (трещины «усыхания»);
- наличием в пределах отложений карбона водоносного комплекса;
- увеличением влажности приконтурного слоя массива пород при воздействии на него шахтной атмосферы во времени, вследствие чего значительной потерей его прочности.

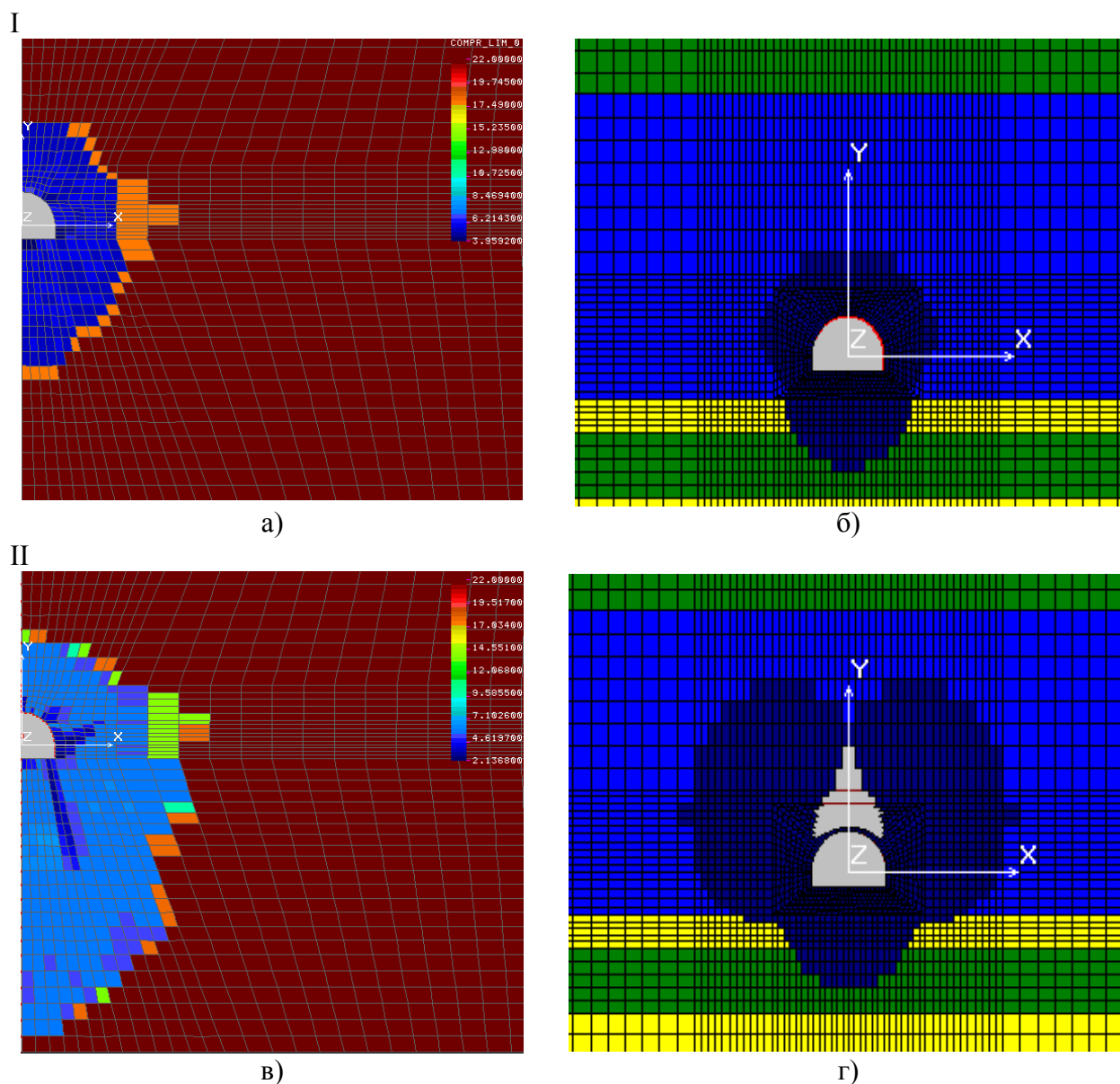


Рис. 3. Конфигурация зоны разрыхления для одиночной выработки при вспучивании (а, в) и вывале (б, г) на этапах до начала развития процесса (I) и после вспучивания и вывала на высоту $2R_0$ от контура (II)

Комплексные исследования деформационных процессов в окружающем выработку массиве, выполненные в Западном Донбассе [15] позволили установить схему разрушения пород приконтурного слоя (рис. 4). Такая кинематика слоев пород обусловлена наличием слабых горизонтальных и субвертикальных межслоевых контактов между слоями и блоками пород. Образование зон деформирования (разрушения) вмещающих пород на конечную глубину происходит поочередно друг за другом по мере опускания пластов пород кровли. Наблюдениями в выработках, не подверженных влиянию очистных работ, зафиксировано 3-4 зоны разрушенных пород. На завершающем этапе формирования зон деформирования пород глубина распространения разрушенных пород вглубь массива достигает: в кровле выработки – 7 м, в боках – 3...4 м и в почве 1,5...2 м.

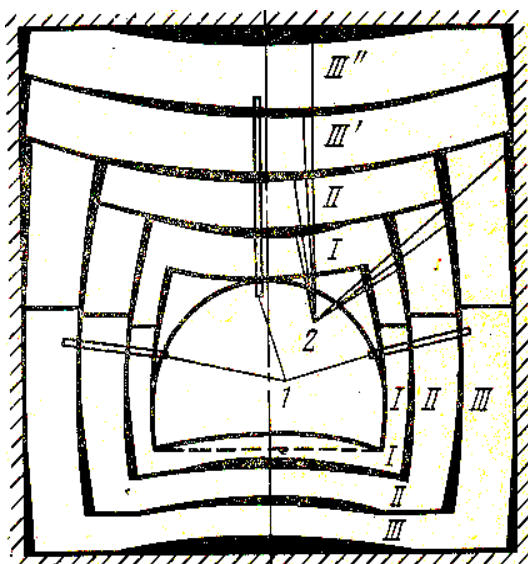


Рис. 4. Схема деформирования (разрушения) пород приконтурного слоя и образование схем разрушения: I, II, III – зоны разрушения вмещающего массива; 1 – шпур для тампонажа разрушенного массива, 2 – пустоты

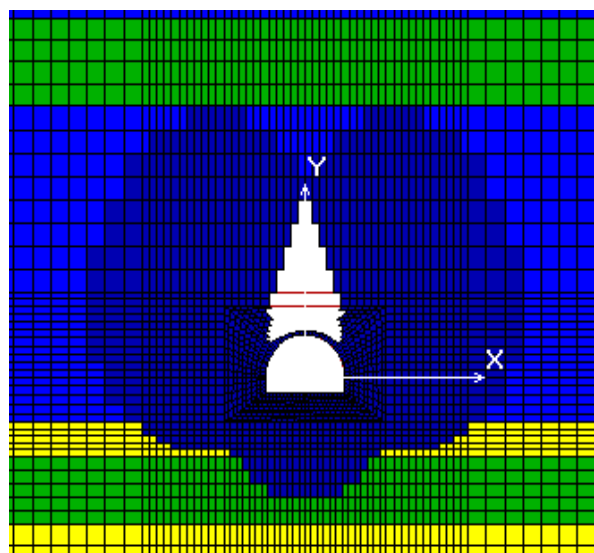


Рис. 5. Численное решение задачи о вывалообразовании в условиях вертикальной трещиноватости окружающего породного массива [19]

Трещиноватость горных пород является одним из важнейших факторов, определяющих устойчивость приконтурного породного массива. В зависимости от ее интенсивности и расположения трещин, происходит существенное ослабление пород, что при соответствующих условиях и видах нагрузки, способствует значительному разрушению пород кровли, большим смещениям породных слоев и отдельностей и, наконец, приводит к дополнительному нагружению крепи, ее разрушению и вывалам породных масс.

Наличие вертикальной трещиноватости в крепких породах при слабых межслоевых контактах, как показывает опыт сооружения подземных выработок, приводит к аварийным ситуациям, вызванных вывалами пород кровли в особо крупных размерах [16-18]. Комплексные исследования таких условий были выполнены в [19] при разработке способов поддержания квершлага на шахте «Красноармейская-Западная №1», расположенного в достаточно прочных породах с наличием вертикальной трещиноватости. Фрагмент численного моделирования при определении зоны возможного обрушения показан на рис. 5.

В исследованиях [12] предлагается типизация кровель по степени устойчивости для некоторых районов Донбасса. Приведен обширный анализ устойчивости очистных, подготовительных и капитальных выработок в зависимости от типа кровли. Системы трещин с углами падения близкими к 90° оказывают решающее влияние на поведение пород непосредственной кровли (песчаников, аргиллитов, алевролитов) и способствуют активному вывалообразованию.

Достаточно большое число случаев вывалов пород кровли в выемочных выработках (25...30 %) обусловлено влиянием очистных работ, вследствие чего процесс разрушения слабых приконтурных пород интенсифицируется [9]. Образованию вывалов способствуют также геологические нарушения: сбросы с амплитудами 0,2-0,9 м, размывы верхней угольной пачки, кливаж и природная трещиноватость пород.

Анализ результатов исследований вывалообразования в горных выработках угольных шахт – как параметров вывалов, так и учета их при проектировании крепи – позволяет сделать следующие выводы.

1. В условиях возможного образования значительных зон деформаций пород вокруг выработок, вывал является не только результатом значительных расслоений пород и потери ее

прочности, но и особой формой геомеханических процессов, спровоцированных рядом горно-геологических и горнотехнических факторов, среди которых необходимо назвать:

- незначительный отпор крепи (или его отсутствие в начальный период при некачественной забутовке закрепного пространства), способствующее отделению части пород приконтурной зоны с образованием на внешней границе нового породного обнажения;
- обводненность участка выработки, что существенно снижает прочность пород и сцепление их между собой и на межслоевых контактах;
- повышенная трещиноватость пород и неблагоприятные структурные особенности их залегания (склонность пород к расслоениям по вертикальным и наклонным межслоевым контактам);

2. В расчетных схемах, рассматривающих нагрузку на крепь как результат совместного действия смещений породного контура и части веса пород зоны повышенной трещиноватости (руинного разрушения), в качестве последней составляющей необходимо рассматривать не всю, а определенную часть этой нагрузки, которая зависит как от несущей способности крепи, так и от величины смещений породного контура.

3. Во избежание формирования и реализации вывала со стороны кровли (и боков) выработки ввиду чрезмерного увеличения размеров ЗНД, эффективными мероприятиями являются те, которые направлены на ограничение смещений породного контура, предупреждение деформаций и расслоений приконтурного массива и сохранение его остаточной прочности.

Список литературы

1. Либерман Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок. М.: Наука, 1969. – 118 с.
2. Пояснительная записка к типовому проекту «Сечения горных выработок для сложных горно-геологических условий шахт Западного Донбасса» / науч. рук. Г.С. Пиньковский. – Днепропетровск: Днепрогипрошахт, 1977. – 100 с.
3. Пояснительная записка к типовому проекту «Сечения горных выработок с крепью из анкерсов и набрызгбетона» / науч. рук. Г.С. Пиньковский. – Днепропетровск: Днепрогипрошахт, 1979. – 30 с. – (Арх. № 109159).
4. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04 / Шашенко Александр Николаевич. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.
5. Баклашов И.В. Механика подземных сооружений и конструкции крепей / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1984. – 415 с.
6. СНиП II-44-78. Тоннели железнодорожные и автодорожные. Нормы проектирования. – М.: Стройиздат, 1982.
7. Роевко А.Н. Устойчивость подготовительных выработок угольных шахт в условиях больших глубин разработки: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04 / Роевко Анатолий Николаевич. – Днепропетровск, 1995. – 426 с.
8. Кошелев К.В. Охрана и ремонт горных выработок / К.В. Кошелев, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков. – М.: Недра, 1990. – 218 с.
9. Раценко В.И. Обоснование способа повышения устойчивости выработок в условиях внезапного вывалообразования: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04 / Раценко Владимир Иванович. – Днепропетровск, 1998. – 228 с.
10. Стыцин В.И. Изучение проявлений горного давления в основных горных выработках шахт Западного Донбасса с целью выбора рациональных параметров крепей: дис. ... канд. техн. наук / Стыцин Виктор Иванович. – Днепропетровск, 1972. – 143 с.
11. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В.В. Виноградов. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
12. Заславский Ю.З. Исследование проявлений горного давления в капитальных выработках глубоких шахт Донецкого бассейна / Ю.З. Заславский. – М.: Недра, 1966. – 180 с.
13. Петренко Ю.А. Геомеханічні основи збереження стійкості виробок глибоких шахт на різних етапах їх експлуатації: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02 / Ю.А. Петренко;

ДонНТУ. – Донецк, 2008. – 35 с.

14. Черняк И.Л. Предотвращение пучения почвы в горных выработках / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1978. – 237 с.

15. Выгодин М.А. Методы повышения устойчивости горных выработок на шахтах Западного Донбасса / М.А. Выгодин, В.В. Евтушенко // Шахтное строительство. – 1989. – № 5. – С. 11-14.

16. Козел А.М. Устойчивость стенок различно направленных выработок в зависимости от угла падения пород / А.М. Козел // Труды ВНИМИ. – Л., 1963. – № 50. – С. 59-77.

17. Козел А.М. Влияние расположения околоствольных выработок на характер нарушения крепи / А.М. Козел // Труды ВНИМИ. – Л., 1958. – №. 34. – С.177-187.

18. Шашенко А.Н. Метод экспертной оценки при анализе состояния выработок, пройденных в сложных горно-геологических условия / А.Н. Шашенко, А.Н. Пашко // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений: сб. науч. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – Вып. 11 – С. 6-9.

19. Пашко А.Н. Обоснование способа обеспечения устойчивости капитальных выработок в условиях вывалообразования пород кровли: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04 / Пашко Анатолий Николаевич. – Днепропетровск, 2006. – 191 с.